

GIS 공간유형분석 모형을 이용한 경관 규모 생태계의 평가기법

*손학기, *김원주, **박중화

(*서울대학교 환경대학원, **서울대학교 환경대학원 교수)

1. 서론

환경보전에 대한 국민적 관심의 증대에 따라서 국토계획이나 지방자치단체의 개발계획 수립 및 집행에서의 정확한 자연생태계 정보의 필요성은 커지고 있다. 도시환경의 질을 유지하고, 지역 생태계의 부당한 훼손을 방지하여 인간과 자연이 공생하는 환경을 조성하기 위해서는 해당지역의 생태계를 정확하게 평가하는 것이 필수적이다. 전통적인 생태계 조사방법은 숙련된 조사원을 이용한 집중적인 야외 현지조사에 의존하기 때문에 지역생태계의 공간적 분포상태 혹은 시계열적 변화에 관한 정보를 얻기 위해서는 장시간, 고비용이 소요되는 근본적 한계를 갖고 있다. 따라서 생태계 평가는 주로 희귀종 혹은 법적 보호종의 서식지 혹은 도래지역을 대상으로 시행하고, 한정된 조사 대상지에서 수집된 국지적 생태계 자료를 각종 개발계획 혹은 환경보전계획 수립 대상 지역에 적용하기 어려운 실정이다.

GIS의 공간자료 분석기능을 활용한 경관 규모의 생태계 평가 방법은 전통적인 생태조사 및 녹지자연도의 한계를 극복하고, 지역 혹은 국가 수준에서의 환경보전 관련 의사 결정에 유효하게 사용될 수 있다.

본 연구는 다음의 세가지 목표를 갖는다. 첫째, 생태계 분석 모형에 관한 선행 연구를 기초로 하여 경관 수준에서의 생태계 평가 모형을 구축하되, 하천 유역을 평가 단위로 설정한다. 둘째, 생태계 평가는 일정 시점에서의 상태 및 시계열적 변화를 측정하되, 생태계의 안정성 향상 및 저하의 관점을 구분하여 평가한다. 셋째, 난개발에 의한 생태계 파괴 및 생활환경 문제가 심각한 용인시를 대상으로 1991년 및 1996년의 생태계의 현황 및 이 기간 중의 시계열적 변화를 생태계 안정성 향상 및 저하의 측면에서 평가한다.

2. 경관 규모 생태계 평가모형의 추출

2.1 생태적 공간 유형의 기능과 분석

생태적 공간 유형은 생태계를 구성하는 동물, 식물, 인간, 물, 토양, 대기 등의 요소간에 발생하는 생태적으로 의미가 있는 상호작용의 흔적을 인간이 지표면에서 관찰하는 공간적 유형을 말한다. 생태적 공간 유형은 환경의 질을 향상

혹은 저하시키는 역할을 한다(EPA 1997). 환경의 질을 향상시키는 생태적 공간 유형은 산림연결성, 수변 완충지역, 식생 총위, 대면적의 산림 서식지, 산림의 주변부 서식지 등이다.

주로 인간의 활동에 관련된 생태적 공간 유형은 환경의 질을 떨어뜨리는 역할을 한다. 즉 댐, 하천변 및 급경사지의 농경지, 유역내 농경지 면적, 인간 주거지, 인구밀도 증가, 산림 벌채, 대기오염, 하천변 도로, 산림 관통 도로, 산림 속의 주거지 등은 환경의 질을 저하시키는 생태적 공간 유형이다.

2.2 생태계 평가의 공간적 단위

생태계는 유전자에서부터 대기에 이르는 복잡한 시스템으로서 개체군, 생태계/군집, 경관, 생물군계, 생태권의 위계적 특성을 가진다 (Bailey 1996). 종래의 생태계 연구는 개체군 혹은 군집 수준에서의 종다양성 (species diversity)에 집중되었고, 임계수준 이하로 감소된 개체군을 회복시키는 것을 목적으로 사후적 생태계 관리에 치중하였다. 근래에는 경관생태학의 발전에 따라서 경관 수준에서의 생물다양성(biodiversity) 혹은 생물학적 온전성을 유지하기 위한 연구 및 종합적, 예방적 관리를 중시하게 되었다 (Angermeier and Karr 1994).

생태계 평가는 생태학적 기초 및 심각한 환경문제의 해결에 유용하게 사용될 수 있어야 한다. 미국 EPA (1994)가 시행중인 EMAP-L 과제는 근래에 발전된 경관생태학적 이론에 입각하여 경관규모 생태계의 평가지표로서 생물적 온전성과 종다양성, 유역의 온전성, 경관의 지속가능성과 복원력을 선정하였다. 현재 우리나라의 도시화 및 사회간접시설 건설에 따른 서식지 축소 및 단편화, 전국적인 하천 유역 개발에 따른 수문환의 교란, 지속가능한 성장의 필요성을 감안하여 상기한 EPA의 평가모형을 채택하였다.

생태계 조사 및 분석 구역의 경계를 설정에 있어서는 종래의 하천계획에서 유역경계를 단위로 하는 것과 마찬가지로 생태조사구의 경계로 사용하면 물을 중심으로 모이는 야생동물을 공간단위의 중심부에서 정확하게 표현할 수 있다. 최근에는 DEM을 이용하여 유역경계를 추출하는 것이 용이하게 되었기 때문에 지형도에 표시되는 하천보다 하위의 수계 및 유역경계를 용이하게 추출할 수 있다.

2.3 경관 규모 생태계 평가 인자의 도출

경관규모에서 생태적 온전성과 종다양성에 관한 평가의 목적은 서식지의 축소와 단편화 위험성 및 종다양성 측면에서의 가치를 평가하는 것이다. 서식지의 축소와 단편화는 개체군사이의 유전물질의 교환을 감소시켜서 국지적 개체군의 절멸 및 종다양성의 저하를 가속화시킨다 (Forman 1995). 경관규모의 생태계 평

가방법은 현장조사 위주의 평가보다 소요 시간 및 비용이 적으면서도 넓은 지역의 생태계를 동등한 정확도로 평가할 수 있다.

하천유역의 온전성 평가는 유역 개발이 하천생태계에 미치는 영향을 평가하는 것이다. 유역내 자연 식생의 감소, 지피식생의 변화, 수변 완충대의 제거, 하천 인접지역의 개발 등은 유역의 수문환에 큰 영향을 미친다. 하천의 수자원 공급, 수질 정화, 홍수 제어, 토양 보전 등의 능력을 유지하는 것은 인간과 자연의 공생 혹은 지속가능한 성장(ESSD)의 관점에서 필수적인 것으로 인정받고 있다 (Jones 1997).

경관의 지속가능성 및 복원력은 생태계가 오래 유지될 수 있고, 교란으로부터 복원할 수 있는 능력이다. 파편화된 패취에서 동물 개체군의 복원력은 패취간의 연결통로의 상태 및 거리에 의해서 결정된다. 따라서 인간과 자연의 공생가능성을 극대화하는 것을 평가한다.

본 연구에서 경관 규모 생태계 평가는 미국 EPA (1994)가 시행한 동부해안 지역 경관생태계 평가인자를 참조하여 일정 시점에서의 생태계 상태 평가 및 생태계의 시계열적 변화를 평가하였다. 생태계의 현재 상태 및 시계열적 변화는 안정성을 향상시키는 측면과 주로 인간에 의한 교란의 부작용으로 안정성이 저하되는 측면을 구분하여 평가하는 것이 필요하다.

본 연구는 <표 1>과 같이 평가인자를 선정하였다. 즉 생태적 온전성과 종다양성은 경관생태학적 기초에서 육상생태계의 질을 평가하는 7개의 평가인자, 유역 온전성 지표는 하천의 수문학적 순환, 수자원 공급, 오염물질 정화 등의 중요한 역할을 평가하는 4개의 평가인자, 경관의 지속가능성 및 복원력 지표는 경관생태학적 측면에서 인간의 교란행위가 생태계에 미치는 영향을 평가하는 5개의 평가인자를 추출하였다.

<표 1> 경관 생태계 평가인자의 구성

구분		생태적 온전성-종다양성						하천유역 온전성				경관지속가능성-복원력					
평가지수		산림면적비율	산림과 변화	패취내부면적비	최대패취지수	주연부면적비율	패취평균인접도	패취형태지수	수자원량	수변완충농지비	불투수층비율	수변농경지비율	인구밀도	농경지비율	농경지토양침식	도로밀도	개발면적비
		생태계상태평가	향상	0		0	0	0	0	0	0				0		
	저하		0							0	0	0		0	0	0	0
생태계변화평가	향상	0		0	0	0	0		0				0				
	저하		0							0	0	0		0			0

3. 사례연구

3.1 공간DB 구축

용인시 일대는 서울 및 분당 신도시에 인접하여 1990년대 초부터 주택건설촉진법에 의거한 대규모 주거단지 개발이 본격적으로 시작되었으며, 1994년 준농림지 개발이 허용되면서 난개발의 문제가 대두되고 있다. 본 연구에서는 개발 초기와 현재의 상태를 분석하기에 적합한 1991년 및 1996년의 Landsat TM 영상을 사용하였다. 공간수치데이터는 1997년 개정된 1:25,000 기본도를 기준으로 하고, 인구통계 등은 1998년 자료를 사용하였다.

대상지의 지리정보 데이터베이스는 1:25,000 수치지형도의 도로망, 수계(하천 중심선, 호소) 및 표고 레이어를 이용하였고, ARC/INFO 7.1을 이용하여 구축하였다. 유역경계는 환경부가 1997년에 제작한 한강유역도를 사용하였다. 용인시는 11개의 유역으로 구분되며, 유역면적의 범위는 최소 대별천 유역 20.22km², 최대 청미천01 유역 138.36km²이며, 유역의 평균면적은 72.80km²이다. 이것은 경관규모 생태계 평가에는 적합하지만 종래의 개별 사업에 대한 환경영향평가 대상 면적을 초과할 가능성이 크다. 종래에는 경관생태학적 원칙과는 무관하게 환경영향평가 범위는 사업지구 장축의 2배를 기준으로 하였기 때문에 발생한 문제를 해결하는 데 유리할 것으로 판단된다.

위성 영상자료의 좌표등록 및 무감독 분류를 통한 지피분류 작업은 ER-Mapper 6.0을 이용하였다. 경관지수 등의 경관생태학적 분석은 ArcView 3.2의 확장 모듈로 개발된 PatchAnalyst를 사용하였다. 또한 경관규모에서 수질과 관련된 토지이용 관련 분석작업은 ArcView 확장모듈인 ATtLLA version 2.0을 사용하였다.

3.2 사례지역의 생태계 평가

1) 1991년도 생태계 평가

사례지역인 용인과 같은 대도시에 인접한 지역에서의 인간의 자연생태계 이용 혹은 관리 행위는 필연적으로 자연생태계의 항상성 유지능력을 저하시킨다. 따라서 생태계 평가는 안정성 향상 및 훼손의 측면으로 구분할 수 있다 (EPA 1997). 사례지역의 1991년의 생태계 안정성 향상에 대한 평가는 각 지수의 값이 가장 큰 3개의 유역을 선정하고, 각 유역별로 선정된 개별 지표의 수를 합산하여 상대누적지수를 계산하였다. 또한 생태계 훼손에 대한 평가는 각 지수의 값이 가장 적은 3개의 유역을 선정하여 동일한 요령으로 상대누적지수를 계산하였다.

생태계 향상에 관한 평가는 <표 1>에서 소개한 바와 같이 9개의 지표를 이

용하여 상대누적지수를 산출하였다. 농경지비율은 자연생태계의 훼손과 밀접한 관계가 있지만 인간의 지속성장 관점에서 필수적이기 때문에 포함되었다. 생태계의 향상에 관한 지표의 분석 결과는 <표 3>과 같다. 진위천01 유역은 상대적 누적지수 6으로서 평가인자 6개가 전체 유역의 최상위권에 속하는 것을 의미한다. 반대로 탄천01 유역은 상대누적지수가 0으로서 조사 대상 유역 중에서 교란이 가장 심한 생태계임을 알 수 있다.

생태계 교란에 관한 평가는 <표 1>과 같이 8개의 지표를 반영하였다. 이 평가의 결과 청미천01 유역은 상대누적지수가 4로써 생태계 교란이 가장 심하고, 이어서 신갈저수지, 진위천02, 탄천01 유역은 모두 상대누적지수가 3으로 평가되어 생태계 교란이 심한 편이다. 반면에 복하천01, 진위천01 유역은 상대누적지수가 0으로 평가되어 생태계 교란이 가장 적은 상태임을 알 수 있다. 또한 경안천01, 고삼저수지 유역도 상대누적지수 1로써 교란이 적은 편이다.

<표 2> 용인시의 1991년 생태계 향상에 관한 지표

유역명	산림면적비율	내부면적비율	최대패취지수	주연부비율	패취평균인접도	패취태지수	수자원량	수변녹지비율	농경지비율	상대누적지수
경안천01	68.4	16.8	5.7	7.5	3975.6	1.9	0.4	7.9	18.5	2
경안천02	62.2	19.9	4.6	8.0	6710.6	1.8	1.2	15.9	21.7	4
고삼저수지	57.2	10.2	2.7	10.0	3338.4	2.0	2.0	6.9	23.8	2
대벌천	68.7	4.9	1.5	2.9	4554.7	1.9	0.2	14.1	18.3	2
복하천01	60.5	17.6	4.1	10.8	7868.8	1.9	0.5	11.9	24.9	4
신갈저수지	60.0	9.5	2.8	6.4	2476.9	1.9	4.5	12.6	18.7	1
오산천	64.9	12.1	3.3	5.9	2854.6	1.8	0.5	17.0	19.6	2
진위천01	64.0	21.2	7.3	12.2	9654.5	2.2	4.0	10.5	19.24	6
진위천02	50.5	15.1	2.9	13.8	2091.0	1.9	1.1	7.3	29.2	2
청미천01	43.4	17.3	3.4	16.9	1571.9	1.7	0.6	2.1	36.8	2
탄천01	60.9	15.4	4.2	7.5	3088.1	1.9	0.4	7.7	21.0	0

2) 1996년도 생태계 평가

상기한 1991년의 생태계 평가와 동일한 방법으로 시행된 생태계 향상에 대한 평가에서 진위천01 유역이 상대누적지수 7, 고삼저수지 5로 평가되어 안정성이 큰 것으로 평가되었다. 반면에 대벌천, 탄천01 유역은 상대누적 지수 0, 신갈저수지는 1로 평가되어 생태적 안정성이 가장 낮은 것으로 평가되었다. 오산천, 청미천 01 유역의 상대누적지수는 3, 여타 유역은 모두 2로 평가되어 비교적 안정성이 낮은 것으로 평가되었다.

생태계 교란 평가에서 진위천01과 복하천02이 상대누적지수 0으로 나타나 생태적 교란이 가장 적으며, 따라서 다른 유역에 비해서 상대적으로 좋은 상태를 유지하는 것으로 평가되었다. 그러나 탄천01, 신갈저수지, 경안천02 유역은 상대누적지수가 4-5로서 여타 유역에 비해서 생태계 교란을 심하게 받고 있다. 이와 같은 생태계 교란은 주로 이 지역에서의 대규모 택지개발사업의 진행으로 기인된 것이다.

3.3 생태계 변화 추세 평가

사례지역의 1991년에서 1996년의 생태계 변화는 <표 1>에서 제시된 평가인자를 사용하되, 각 지수는 1991 - 1996년 기간 중의 변화량을 기준으로 생태계의 향상과 저하의 측면을 구분하여 평가하였다. 즉 평가인자 산림면적비율의 경우는 대상인 11개 유역의 이 기간 중의 산림면적 변화량을 기준으로 향상 및 저하를 평가하였다.

사례연구 지역에서 1991 - 1996년 기간 중에 생태계의 향상 지표의 상대누적지수 5로 평가된 진위천 01유역이 가장 향상된 것으로 평가되었다. 이어서 고산저수지, 진위천02, 청미천01 유역은 상대누적지수 3으로 상당히 향상된 것으로 평가되었다. 반면에 경안천 01과 탄천 01 유역은 생태계 향상 지표의 상대누적지수가 0으로 평가되어 어느 지수도 이 기간 중에 향상된 것이 없다. 그러나 경안천 02 및 신갈저수지 01 유역은 상대누적지수 1, 대벌천, 복하천01, 오산천 유역은 상대누적지수 2로 평가되었다.

사례연구 지역의 생태계 변화에 관한 평가는 <표 1>의 인자를 이용하여 평가하였다. 1991 - 1996년 기간 중에 생태계가 가장 급격하게 훼손된 유역은 상대누적지수 5로 평가된 탄천01 유역과 상대누적지수 4로 평가된 경안천02 유역이다. 탄천01 유역은 분당신도시에 인접한 수지 일대의 택지개발, 경안천02 유역은 광주읍 일대의 개발 때문이다. 반면에 복하천의 상대누적지수는 0으로서 생태계 교란이 가장 적었고, 고산저수지, 대벌천, 신갈저수지, 진위천01 유역은 상대누적지수 1로써 개발로 인한 유역 생태계 교란이 약한 편이었다.

4. 결론

생태계 정보는 전국 및 지자체 수준에서의 개발 및 환경보전 계획 수립에 필수적이다. 종래의 현장조사에 의한 생태계 평가가 안고 있는 조사 비용과 시간, 그리고 현장조사에서 오는 국지적 생태계 자료라는 공간적 한계를 극복하기 위해서 생태적 공간유형을 이용하여 생태계를 평가할 수 있는 모형을 개발하는 것이 필요하다. 본 연구는 유역을 단위로 하는 경관규모 생태계의 평가기법을 채택하였으며, 유역 면적의 범위는 20.22 - 138.36km²이며, 평균면적은 72.80km²이다.

최근의 경관생태학적 연구 결과를 고려하여 생태계의 평가는 생물적 온전성과 종다양성, 유역의 온전성, 경관의 지속가능성 및 복원력을 평가하기 위하여 부문별로 각각 7개, 4개, 5개의 평가인자를 측정하였다.

본 연구의 결과는 다음과 같다. 첫째, 1991년에는 진위천01, 경안천01, 복하천01 유역 생태계가 가장 안정되고, 탄천01, 중미천01 유역이 생태계의 교란상태가 가장 심한 것으로 평가되었다. 둘째, 1996년에는 진위천01, 고삼저수지 유역 생태계가 가장 안정되고, 탄천01, 신갈저수지, 경안천01 유역의 생태계가 가장 교란된 것으로 평가되었다. 셋째, 연구기간(1991-1996) 중에 탄천01 유역의 생태계가 가장 급격하게 훼손된 것으로 평가되었다. 이 지역은 서울 및 분당신도시에 근접하고, 수지택지개발지구를 포함하기 때문이다. 넷째, 우리나라에서는 소유역 단위의 경관 수준의 생태계 건전성 평가가 시행된 적이 없음을 고려하면 GIS의 공간 자료 저장 및 분석기능은 대규모 개발사업의 공간적 영향을 평가하는 데 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

김경민, 2000, 도시생태계 보전복원을 위한 생태자연도 작성기법 개발, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.

서창완, 2000. GIS와 로지스틱 회귀분석을 이용한 멧돼지 서식지 모형 개발. 서울대학교 박사학위 논문.

손학기 2000, 공간유형 분석 기법을 이용한 경관규모 생태계의 평가: 용인시를 사례지역으로, 서울대학교 환경대학원 석사학위 논문.

용인시, 1998. 『제3회 용인통계연보』.

이도원, 2000. 『환경계획과 설계, 관리를 위한 경관생태학』. 서울대학교 출판부

일본 환경청, 1998, 『전국 녹지국세조사 보고서』.

조용현, 2000, 『서울시 생태자연도』, 서울시정개발연구원

Angermeier, Paul L. and James R. Karr, 1994, Biological Integrity versus Biological Diversity as Policy Directives: Protecting biotic resources, BioScience 44(10): 690-697.

Bailey, R.G. 1996. Ecosystem Geograpy. Springer.

Bernard, Jerry and Ron Tuttle, 1998. Stream Corridor Restoration:

Principles, Practices, and Processes, USDA Natural Resources Conservation Service.

Environmental Protection Agency(EPA), 1994. Landscape Monitoring and Assessment Research Plan, EPA 620/R-94/009, Office of Research and Development, Washington, D.C.

EPA, 1997. Environmental Monitoring and Assessment Program : Research Strategy.

Forman, R.T.T. 1995. Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions. Cambridge University Press.

Jones, K. Bruce et al. 1997, An Ecological Assessment of the United States Mid-Atlantic Region: A Landscape Atlas. EPA.

Scott, J. M. T.H. Tear, and F.W. Davis, 1996. GAP Analysis: A Landscape Approach to Biodiversity Planning.